



EESTI MAAÜLIKOOL

Tartu Tehnikakolledž

Helari Kukk

**KÄE PIGISTUSJÕU MÕÕTMISSÜSTEEMI ARENDUS ARDUINO
MIKROKONTROLLERI BAASIL**

HAND GRIP FORCE MEASUREMENT SYSTEM BASED ON ARDUINO
MICROCONTROLLER

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö

Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: Märt Reinvee, MSc

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Rakenduskõrghariduse		lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte			
Autor: Helari Kukk		Õppekava: Tehnotroonika			
Pealkiri: Käe pigistusjõu mõõtmisüsteemi arendus Arduino mikrokontrolleri baasil					
Lehekülgi: 36		Jooniseid: 45		Tabeleid: 3	
				Lisasid: 2	
Osakond: Tehnikakolledž					
Uurimisvaldkond: Elektroonika					
Juhendaja: Märt Reinvee					
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017					
<p>Lõputöö projekti eesmärgiks oli projekteerida ning luua seade mis suudaks talletada andmeid tööriistade ergonoomilisuse hindamiseks. Seade on loodud Arduino Mega ADK platvormi baasil. Ergonoomilisuse hindamiseks kogub seade andmeid kinda külge kinnitatud andurite abil, millega mõõdetakse vibratsiooni, kiirendust ning pigistustugevust. Lisaks on seade võimeline mõõtma kahe lihase elektromüograafilist aktiivsust.</p>					
<p>Diplomitöö teema algatajaks oli Märt Reinvee, kes on ka ühtlasi töö juhendaja.</p>					
<p>Diplomitöö koosneb kolmest põhipeatükist, kus esimeses peatükis analüüsitakse süsteemi elemente ning tehakse valik nende vahel. Teine peatükk keskendub seadme loomise protsessile ning kolmandas peatükis kalibreeritakse loodud seadet, et läbi viia katseid.</p>					
<p>Märksõnad: Arduino Mega ADK, käe pigistusjõud, elektromüograafia, vibratsioon, kalibreerimine.</p>					

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of professional higher education thesis	
Author: Helari Kukk		Speciality: Technotronics	
Title: Hand grip force measurment system based on Arduino microcontroller			
Pages:36	Figures: 45	Tables: 3	Appendixes: 2
Department: Technology College Field of research: Electronics Supervisors: Märt Reinvee Place and date: Tartu 2017			
<p>The purpose of this thesis was to design and create device which could manage recording data to evaluate ergonomics of tools. Device is designed based on Arduino Mega ADK platform. To evaluate ergonomics of tools the device collects data of vibration, acceleration and grip force with sensors attached to glove. Besides the device is able to measure electromyographic activity of two separate muscles.</p> <p>Thesis topic initiator Märt Reinvee was also supervisors of thesis.</p> <p>Thesis consists of three main chapters – analyzing system elements to choose right elements. Second chapter is concentrated to creation of device and third chapter is concentrated to calibrating device to start testing.</p>			
Keywords: Arduino Mega ADK, hand grip force, electromyography, vibration, calibrating.			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. Süsteemi elementide lahenduste analüüs ja valik	7
1.1. Arendusplaadi valik	7
1.2. Käte pigistusjõu mõõtmine	9
1.2.1. Käte pigistusjõu mõõtmise võimalused	9
1.2.2. Käte pigistusjõu süsteemi elemendi valik	12
1.3. Kalibreerimise tensoanduri valik	13
1.4. Vibrtasiooni ja mõõtmine	14
1.5. Elektromüograafia	16
1.6. Andmete talletamine	16
1.7. Juhtmevaba andmeedastus	17
2. Seadme loomine	18
2.1. Prototüüp ja selle katsetamine	18
2.1.1. Funktsionaalsete komponentide testimine	18
2.1.2. Prototüübi loomine	20
2.1.3. Katsetamise	22
2.2. Esmane lahendus	22
2.2.1. Esmase lahenduse trükkplaadi loomine	22
2.2.2. Seadme korpuse disainimine	23
2.3.3. Katsetamine	24
2.3. Lõpplahendus	25
2.3.1. Lõpliku seadme skeemi loomine sümbolkujul	25
2.3.2. Lõpliku seadme trükkplaadi skeemi disaini loomine	32
2.3.3. Lõpliku seadme korpuse disainimine	33
3. Seadme katsetamine	35
3.1. Tarkvara	35
3.2. Kalibreerimine	36
KOKKUVÕTTE	39
Summary	40
KASUTATUD KIRJANDUS	41
LISAD	43
Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	54

SISSEJUHATUS

Tänapäeval läheb inimestele aina rohkem korda mugavus ning kõikvõimalike elu lihtsustavate abi- ja töövahendite kasutajasõbralikkus. Esemete kasutajasõbralikkus on ka üheks ergonoomilisuse kriteeriumiks.

Ergonoomilisuse objektiivseks hindamiseks peab koguma andmeid erinevate kasutajate kohta ning neid andmeid analüüsides saab teha otsuseid ergonoomilisuse kohta – kuidas mingit elu lihtsustavat seadet või masinat arendada paremuse poole või millist abi- ja töövahendit kasutamiseks valida.

Antud diplomitöö raames loodi seade, mida kasutades on võimalik hinnata inimese pingutust esemete käes hoidmisel. Töö valmimiseks loodi esmalt prototüüp, et katsetada loodava seadmega kasutatavate andurite ja funktsionaalmoodulite koos toimimist. Seejärel valmis esmane lahendus ja sellele valmistati ka korpus, et seadet oleks mugav kasutada. Paraku leidis puudujääke, mida oli vaja kõrvaldada. Alles kolmanda variandina valmis seade koos korpuse ning andurite mooduliga, mis oli kasutamiseks kõlbulik.

Valminud seadme puhul on tegemist mõõteseadme ning kindaga mille küljes on andurid jõu rakendamise tugevuse hindamiseks. Lisaks suudab seade mõõta vibratsiooni – käe kiirendust, et osata hinnata uuritava objekti poolt tekitatavat vastupanu inimesele. Seade kogub ja talletab infot ja on võimeline seda edastama jooksvalt – protsessi vältel.

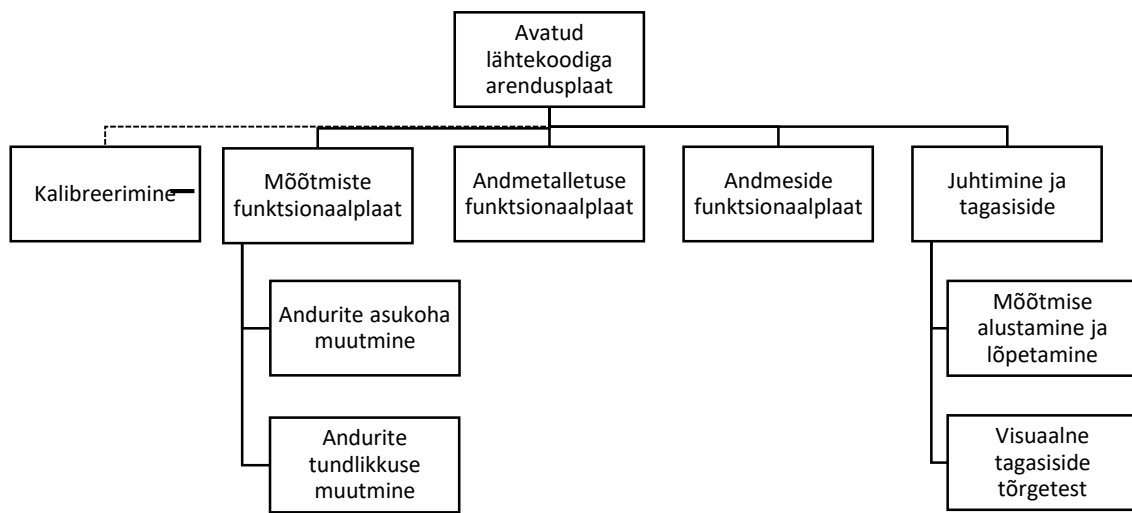
Töö eesmärgiks oli luua odaval platvormil lihtsasti asendatav seade millega koguda andmeid erinevate tööriistade ergonoomilisuse hindamiseks, kuid mille funktsionaalsus ei jääks alla turul saada olevatele seadmetele. Kuna alternatiivsed mõõteseadmed ning sobilikud valmis kujul andurite kooslused on kallid, siis on seadme erinevuseks terviklahendi odavus ja kohandatvus.

Loodavale seadmele seatud nõuded:

1. Madal maksumus
2. Kompaktsus ja autonoomsus – ei tohi mõõtmisel inimese tegevust segada.
3. Kalibreeritav.

4. Andmehõive parameetrite lihtne muudetavus lõppkasutaja poolt.
5. Võimaldab mõõta samaaegselt vähemalt 10 punkti jõudu.
6. Kohandatavus – võimaldab andurite asukoha muutmist lähtuvalt uuritavast objektist.

Seadmele esitatud nõuete põhjal koostati lähteülesande plokkskeem (joonis 1).



Joonis 1. Lähteülesande plokkskeem

Töö teoreetilise osa ülesehitus järgib joonisel 1 esitatud süsteemi elementide loetelu. Esmalt analüüsiti võimalikke lahendusvariante ja sellele järgneb valiku kirjeldus ja põhjendus. Praktilises osas on kirjeldatud seadme valmistamise protsessi.

Diplomitöös on kasutatud IEE viitamissüsteemi.

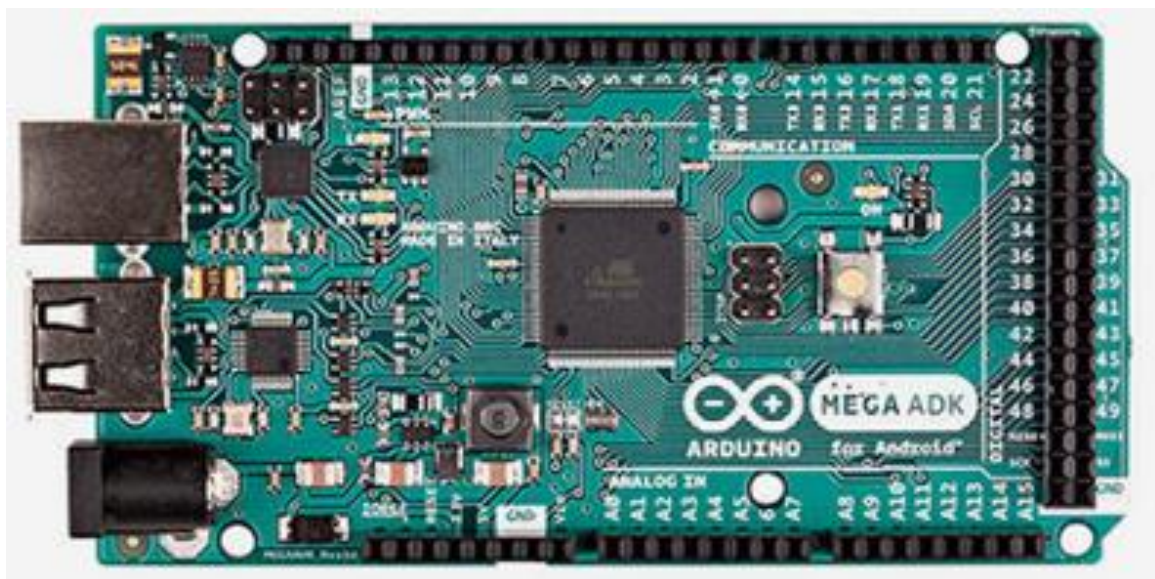
1. SÜSTEEMI ELEMENTIDE LAHENDUSTE ANALÜÜS JA VALIK

1.1. Arendusplaadi valik

Diplomitöös kasutatava mikrokontrolleri platvormi valimisel lähtuti mitmetest erinevatest näitajatest:

- Tehnilised omadused
- Hind
- Kiire tarneaeg/lihtne kättesaadavus
- Lähtekoodi avatus
- Programmikoodi muudetavuse lihtsus lõppkasutajale
- Töökindlus
- Energiasäästlikkus

Eeltoodud omaduste põhjal otsustati kasutada avatud lähtekoodiga arendusplaati Arduino Mega ADK Rev3 (joonis 2) edaspidi Arduino, mida on võimalik Eestis soetada OÜ Dormikor kauplusest Oomipood hinnaga 65,55 € [1].



Joonis 2. Arduino Mega ADK [2]

Tehniliste omaduste poolest sobis Arduino diplomitöö raames kasutamiseks kuna arendusplaadi mõõtmed ja mass on üsna väiksed: pikkus 101,52 mm, laius 53,30 mm ja mass 36 g. Mikrokontroller ATmega2560 võimaldab platvormile lisada 54 sisend-väljund viiku ning 16 analoog viiku [2].

Analüüsi tulemusena otsustati kasutada joonisel 2 kujutatud Atmega2560 mikropotsessori baasil loodud platvormi Arduino Mega ADK kuna diplomitöös seatud eesmärkide kohaselt oli valitud platvormil piisavas koguses analoog sisendeid.

Arduino programmeerimiseks on võimalik kasutada tasuta tarkvara Arduino IDE ning veebipõhist programmeerimiskeskonda. Lõppkasutajale teeb seadme kasutamise lihtsaks Arduino platvormide müümine eelseadistatud buudilaaduriga, mis lubab programmikoodi mikroprotsessorisse laadida ilma välise programmeerija abita [3].

Platvormi valimisel peeti väga oluliseks omaduseks ka energiasäästlikkust, kuna seade peab olema mobiilne ning võimaldama piisavalt pika aja vältel mõõtmisi sooritada. Arduino tööpinge on 5 V alalisvoolu pinge ning toitenäht võib kasutada 6 – 20 V alalisvoolu toiteallikat. Diplomitöö raames kasutati seadme toiteallikaks PP3 suuruses 9 V pingega patareid, mis võimaldab aktiivselt mõõta vähemalt kahe tunni vältel. Seadme mobiilsuse hindamiseks on läbi viidud tabelis 1 kujutatud katseid, et välja selgitada kasutusaega ühe patareiga.

Tabel 1. Seadme kasutusaaja hindamine

Pinge seansi alguses, V	Seansi kestus, s	Pinge seansi lõpus, V
9,00	2580	8,29
8,29	2460	7,17
7,17	3240	6,66
6,66	1860	5,76

Katse tulemusena selgus, et seadet oli võimalik kasutada vähemalt 10140 sekundi vältel ehk 2,8 tundi. Mobiilsuse seisukohalt võib seadme võimekust pidada väga heaks kuna üldiselt ei tohiks ükski mõõtmine nii kaua kesta ning vajadusel saab patarei väga kergesti uuega asendada.

1.2. Käte pigistusjõu mõõtmine

1.2.1. Käte pigistusjõu mõõtmise võimalused

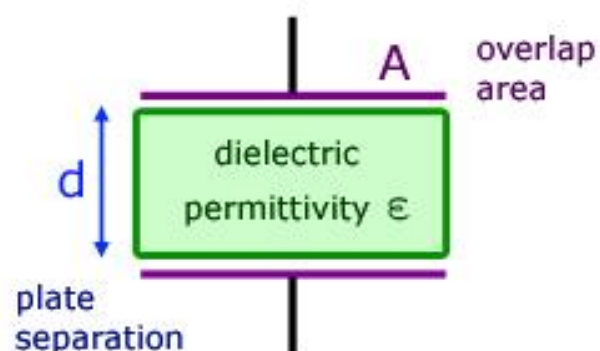
Hüdro-elektrooniline (joonis 3) jõu mõõtmise süsteem põhineb kolmel süsteemielemendil – andmeloger, rõhuandur ning vedelikuga täidetud padi. Vedelikuga täidetud padjale jõudu rakendades suureneb süsteemi rõhk, mida mõõdetakse elektroonilise anduriga [4].



Joonis 3. Hüdro-elektrooniline jõu mõõtmise süsteem [4]

Hüdro-elektroonilise jõu mõõtmise süsteemi heaks küljeks on anduri linearsus rakendatava jõu ning mõõtetulemuse suhtes. Diplomitöö raames loodud seadme puhul ei otsustatud hüdro-elektroonilise jõu mõõtmise süsteemi kasuks kuna süsteemi elementide füüsiline suurus ei võimalda koguda mõõtetulemusi piisavalt paljudes eri punktides.

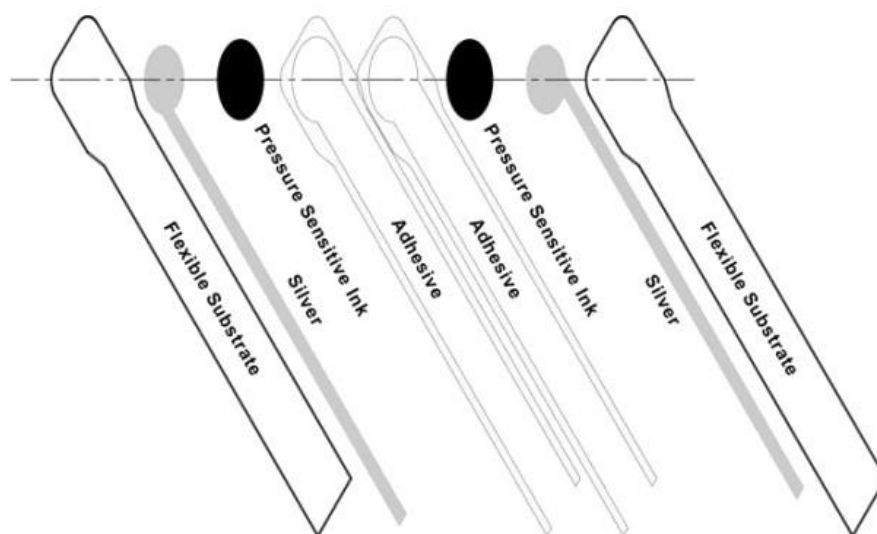
Mahtuvuslikud andurid (joonis 4) koosnevad kahest elektrit juhtivast plaadist ning isolaatorist nende vahel. Andurile jõu avaldades mahtuvus suureneb.



Joonis 4. Mahtuvuslik andur [5]

Plaatkondensaatori mahtuvus (C) sõltub plaatkondensaatori plaatide pindalast A , plaatide kaugusest teineteisest d ning dielektriku dielektrilist läbitavust ϵ ja seda on võimalik arvutada valemiga $C = \epsilon \cdot A \cdot d^{-1}$ [6].

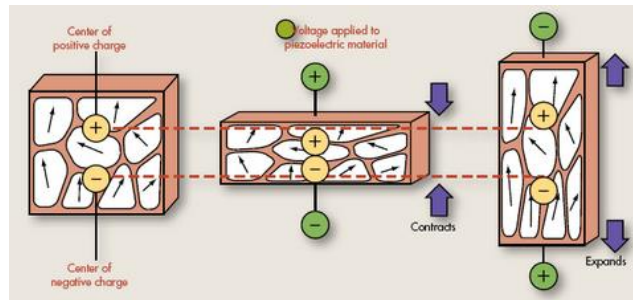
Piesotakisti (joonis 5) on takistuslik puute andur, mille takistus väheneb vastavalt surve avaldamise tugevusele. Piesotakisti koosneb kahest polümeer kihist, survetundlikust tindist ning elektrijuht ühendusviikudest [7].



Joonis 5. Piesotakisti sensori ehitus [8]

Kihtide kooslusele jõudu avaldades väheneb takistus elektrijuht ühendusviikude vahel. Piesotakistite mõõtepiirkonnad on küll erinevad, kuid anduri takistus jõuduavaldamata võib olla üle $1\text{ M}\Omega$ ning maksimaalset andurile lubatud jõudu rakendades väheneb olenevalt anduri tootjast takistus umbes väärtuseni $2\text{ k}\Omega$. [9]

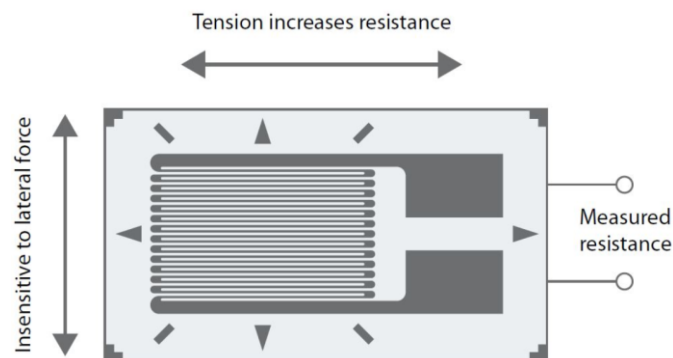
Piesoelektrilised andurid (joonis 6) reageerivad kiirelt ning seega on neid võimalik kasutada suure sagedusega mõõtmiste tegemiseks. Piezoelektrilised andurid ei sobi staatilise jõu mõõtmiseks kuna nende abil mõõdetakse hetkelist mõjutust - mehaanilist šokki ning nende sisetakistus on väga suur.



Joonis 6. Piesoelektrilise anduri ehitus[10]

Piesoelektriline andur koosneb erinevatest materjalidest – enamasti kindlatest kristallidest ning keraamikast, millele äkiliselt survet avaldades tekib elektrijuht ühendusviikude vahele pinge. Anduri tundlikkus sõltub kristallide struktuurist, mis võimaldab eristada piki- ja risti suunalist jõudu ning murdmisel tekkiva deformatsiooni jõudu. Piesoelektrilised andurid sobivad ideaalselt vibratsiooni mõõtmiseks [9].

Tensoandurid (inglise keeles *strain gauges*) on madala maksumusega laialtlevinud koormusandurid, mis mõõdavad mehaanilist koormust (joonis 7). Tensoandurid on tavaliselt kinnitatud aluspinnale spetsiaalse liimiga olenevalt nende eeldatavast kasutusaja pikkusest [9].



Joonis 7. Koormusanduri joonis [11]

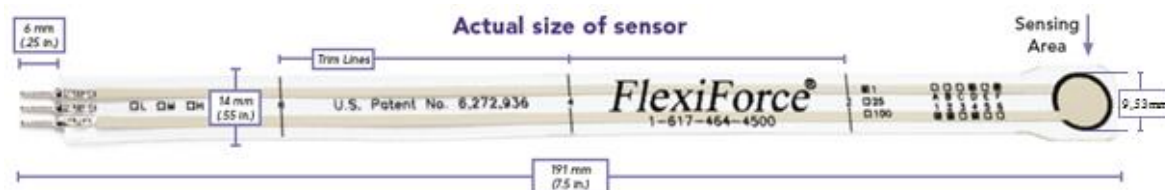
Tensoandurite negatiivseteks omadusteks võib lugeda anduri tehniliste omaduste muutusi sõltuvalt temperatuurist ning niiskusest. Lisaks ei kannata tensoandurid ülekoormust, liiga suure surve avaldamisel muutuvad need kasutuskõlbmatuks [9].

1.2.2. Käe pigistusjõu süsteemi elemendi valik

Diplomitöös valiti jõu mõõtmiseks piesotakistid, edaspidi FSR andurid (lühend inglise keelestest sõnadest *forcing sensing resistor*) Sobilike andurite valimisel osutusid valituks tootja Tekscan andurid FlexiForce A201 (joonis 8), mille maksimaalne koormustaluvus on 445 N.

Alternatiivse lahendusena uuriti ka mahtuvuslike andurite kasutamist. Tehniliste näitajate poolest osutusid sobilikeks anduriteks ettevõtte SingleTact poolt müüdavad mahtuvuslikud andurid maksumusega 17,78 € [32]. Ettevõtte SingleTact andureid ei võetud kasutusele nende kõrgema maksumuse poolest, kuna ressursid olid diplomitöö loomise raames piiratud.

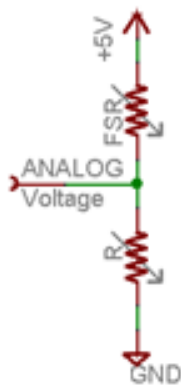
Flexiforce A201 andureid on võimalik tellida tootja Tekscan kodulehelt 4 või 8 kaupa ning vastavalt tellitud kogusele on ühe anduri maksumus ligikaudu 13,5€ [12].



Joonis 8. FlexiForce A201 [12]

FSR anduri ringi kujulise survetundliku piirkonna suurus on läbimõõduga 9,53 mm (joonis 8). FSR andureid kasutatakse kuna jõudu on võimalik lihtsalt mõõta pingejaguri meetodil (joonis 9) ning andurid on piisavalt väiksed, et neid mahutada kinda külge 15 tükki.

FSR anduri pingejaguri üheks takistuslikuks elemendiks on FSR andur ning teise takistusliku elemendina kasutatakse potentsiomeetrit R (joonis 9). Potentsiomeetrit kasutatakse pingejaguris kuna sellega on võimalik FSR anduri tundlikust muuta. Potentsiomeetri väärtuseks valiti 1 MΩ.



Joonis 9. FSR anduri ühendusskeem kasutades pingeljaguri meetodit [13]

FSR anduri üheks negatiivseks omaduseks võib lugeda jõu ja takistuse mittelineaarset suhet. Seetõttu kasutatakse FSR andurite kalibreerimiseks loodud seadmel lineaarset tensoandurit.

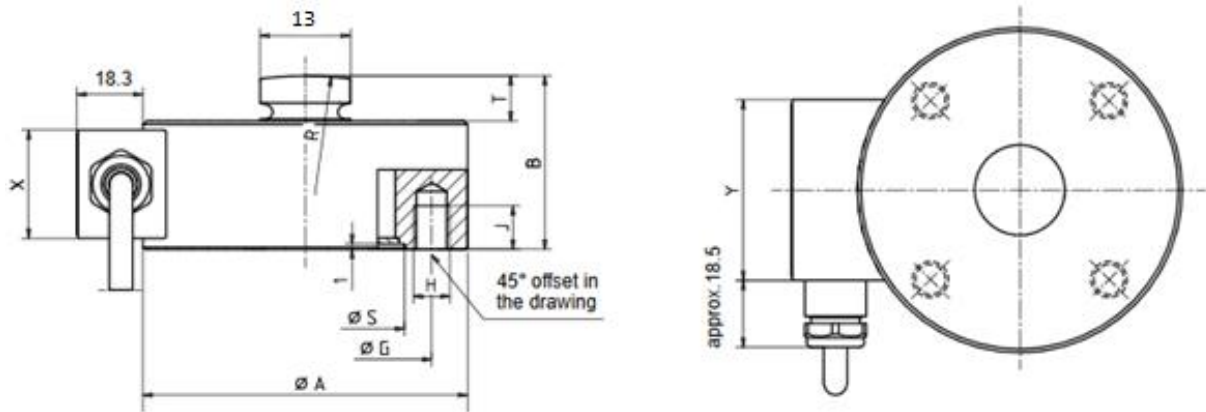
1.3. Kalibreerimise tensoanduri valik

Diplomitöös kasutatavate FSR andurite mittelineaarsuse tõttu oli vaja seadmele luua võimalus lineaarse tensoanduri kasutamiseks, et kalibreerida FSR andureid. Kalibreerimiseks otsustati kasutada tensoandurit kuna FSR anduri kalibreerimine kaaluvihtidega oleks liiga aeganõudev protsess ning kalibreerimise täpsus ei oleks diplomitöös soovitud tasemel. Tensoanduri saab ühendada loodud seadmega ning see kiirendab kalibreerimise protsessi suuresti. Füüsiliste omaduste poolest osutus valituks ettevõtte HBM poolt toodetud tensoandur C2 (joonis 10).



Joonis 10. HBM C2 lineaarne tensoandur [14]

HBM C2 osutus valituks kuna tensoanduri valimisel oli väga oluliseks kriteeriumiks, et tensoanduri survetundliku ala läbimõõt ei oleks väiksem, kui FSR anduri survetundliku ala läbimõõt. FSR anduri survetundliku ala läbimõõt on 9,53 mm (joonis 8) ning HBM C2 tensoanduri survetundliku ala läbimõõt on 13 mm (joonis 11).



Joonis 11. HBM C2 joonis [14]

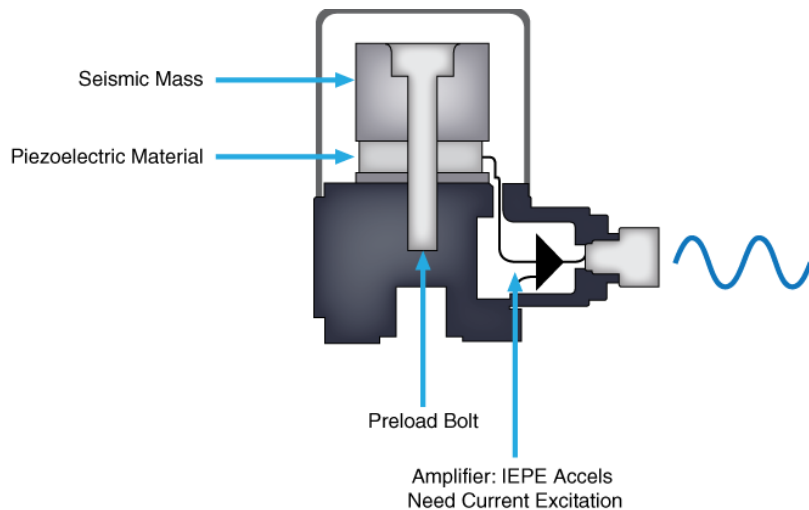
Diplomitöös kasutatava tensoanduri HBM C2 tootja poolne info:

- Nominaalne jõutaluvus 500 N
- Täpsusklass 0,2
- Mittelineaarsus 0,2 %
- Nominaalne tundlikkus 2 mV/V
- Tundlikkuse viga 0,2 % [14].

HBM C2 andurit on võimalik tellida tootja kodulehe kaudu hinnaga 739,31 € [35].

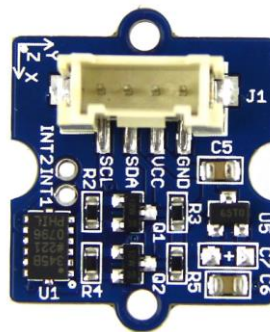
1.4. Vibratsiooni ja mõõtmine

Diplomitöö raames loodud seadme üheks võimalikuks kasutuseks on kiirenduse ning vibratsiooni mõõtmine kuna seadmete ergonoomilisuse seisukohalt on oluline, millist vastupanu seade inimesele osutab. Selleks loodi seadmele valmidus kiirendusanduri ühendamiseks. Kiirenduse mõõtmiseks valiti MEMS tüüpi digitaalne kiirendusandur kuna kiirenduse mõõtepiirkonna ulatus on suur ning mõõteväärtus muutub mõõtepiirkonna ulatuses lineaarselt. Lühend MEMS lahtikirjutatult tähendab *Microelectromechanical system* ehk mikroelktromehaanilist süsteemi [15].



Joonis 12. MEMS kiirendusmõõduri ehitus [15]

Enamus kiirendusmõõdurite süsteeme baseeruvad piesoelektil, mis esineb kui kindlat tüüpi kristallidele survet avaldades tekib pinge. Teststruktuuri kiirendus mõjutab pooljuhist massiosakest (joonis 12), mis genereerib proportsionaalse surve piesoelektrilistele kristallidele. Väliselt piesoelektrilistele kristallidele avaldatav jõud genereerib vastavalt proportsionaalse laengu, mis on proportsionaalselt muutuv kiirenduse väärtusega [15].



Joonis 13. Kiirendusmõõdur ADXL345 [16]

Diplomitöös loodud seadme puhul osutus valituks digitaalne kiirendusandur ADXL345 (funktsionaalplaat joonisel 13), mille maksimaalne mõõtepiirkond on gravitatsioonikonstandist (G) tulenevalt 16 G ning ADXL345 on suuteline mõõtma kiirendust kolme erineva telje x, y ning z suhtes [17].

1.5. Elektromüograafia

Diplomitöö raames tehti katseid mõõtmaks lihaste elektromüograafilist (bioelektrilist) aktiivsust, sellest tulenevalt lisati loodud seadmele valmidus elektromüograafiliste andmete mõõtmiseks kasutades tootja Advancer Technologies LLC funktsionaalplaati Muscle Sensor v3 (joonis 14) [18].



Joonis 14. Advancer Technologies LLC Muscle Sensor v3 [19]

1.6. Andmete talletamine

Diplomitöö raames loodud seadme üheks põhivajaduseks oli võime talletada andmeid mingi kindla perioodi jooksul ning selleks oli vaja luua andmeloger. Erinevate andmetalletus võimaluste analüüsimise käigus otsustati, et andmelogeri loomiseks kasutatakse SD kaardi moodulit (joonis 15). Andmeloger on seadme nimetus mis tuleneb inglisekeelsest sõnast *datalogger*. Andmelogeri ülesanneteks on mõõta ning salvestada füüsilisi või elketrilisi parameetreid mingi kindla aja jooksul. Andmelogereid kasutatakse varieeruvalt ülesandest paljudes erinevates kohtades nagu näiteks sõidukite tööprotsessi ajal andmete kogumiseks, keskkonna andmete kogumiseks, struktuurilise terviklikkuse kindlaks tegemiseks ning masina seisukorra hindamiseks. Sageli kogutakse temperatuuri, niiskuse, pinge, voolutugevuse, rõhu, jõu või kiirenduse andmeid [20].



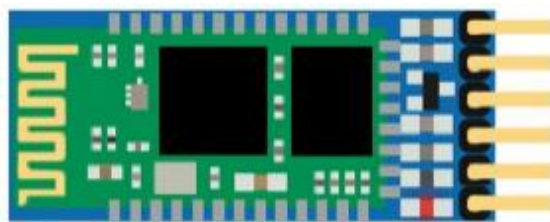
Joonis 15. Secure Digital moodul [21]

Diplomitöös loodud seadme mäluelemendina kasutatakse SD välmälu - inglisekeelse väljendina *secure digital card* [22].

1.7. Juhtmevaba andmeedastus

Diplomitöös loodud seadme puhul arvestati võimalusega, et mõõtmiste sooritamise ajal oleks võimalik andmeid jälgida reaajas. Andmeside võimaluste analüüsimisel lähtuti andmeside lihtsusest, et andmete jälgimiseks ei oleks vaja ühte kindlat seadet, mis suurendaks loodud seadme maksumust.

Analüüsi käigus otsustati, et sobilikuks andmeside tüübiks on Bluetooth ühendus, kuna Bluetooth andmesidet omavad seadmed ühilduvad omavahel ilma suurema vaevata ning ühenduse loomine võtab kõigest umbes 10 sekundit (joonis 16).



Joonis 16. Bluetooth HC-05 [23]

Hetkel turul olevate Bluetooth moodulite seast sobiliku leidmisel otsustati kasutusele võtta HC-05 tüüpi Bluetooth moodul kuna diplomitöös loodud seadme komponentide lihtsasti asendatavuse seisukohalt oli joonisel 16 kujutatud moodul ainuke Eestis müügil olevatest moodulitest [24]. Bluetooth HC-05 moodulit on Eestis võimalik soetada OÜ Dormikor kauplusest Oomipood hinnaga 12 €[32].

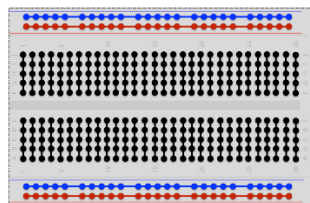
2. SEADME LOOMINE

2.1. Prototüüp ja selle katsetamine

2.1.1. Funktsionaalsete komponentide testimine

Diplomitöö raames loodud seadme projekteerimise juures oli üheks väga oluliseks nüansiks erinevate funktsionaalsete osade katsetamine enne loodud seadme projekteerimist, et püüda vältida võimalikke elektriskeemi vigu.

Erinevate funktsionaalsuste loomiseks katsetati diplomitöös kasutatavaid komponente esmalt prototüübi plaadi peal (joonis 17), mille peal on võimalik ilma juhtmeid kokku põimimata ning jootmata ühendusi luua.

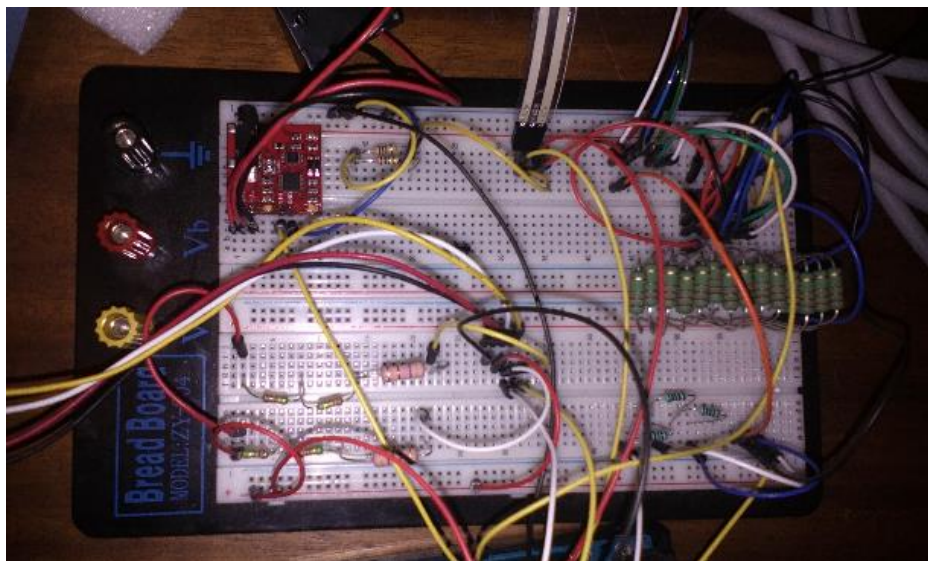


Joonis 17. Prototüüpimisplaat [25]

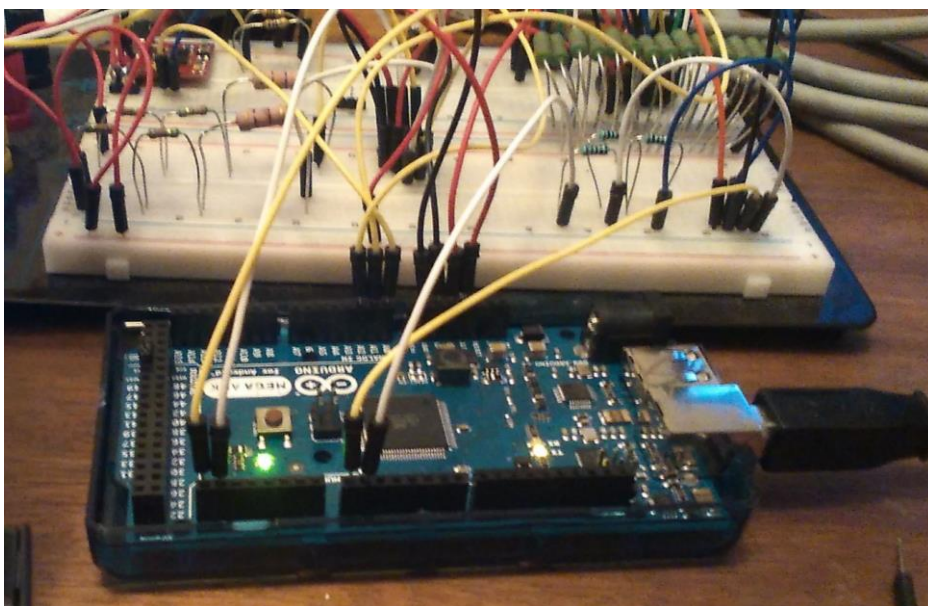
Prototüübi loomisel katsetati palju erinevaid funktsionaalsusi, mida oleks võimalik kasutusele võtta, kuna kommertskasutuseks olevatel seadmetel ei ole üldiselt nii suur funktsionaalsus.

Esmase prototüübi loomiseks katsetatud funktsionaalsed osad (joonised 18 ja 19) :

- Arduino Mega ADK (joonis 2)
- FlexiForce A201 (joonis 8)
- HBM C2 (joonis 10)
- Kiirendusmõõtur ADXL345 (joonis 13)
- Advancer Technologies LLC Muscle Sensor v3 (joonis 14)
- Secure Digital moodul (joonis 15)
- Bluetooth HC-05 (joonis 16)



Joonis 18. Funktsionaalsete osade katsetused

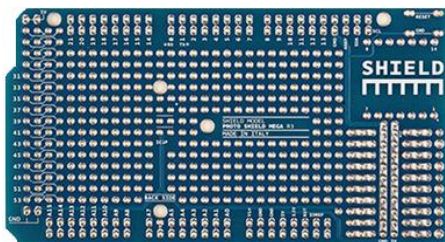


Joonis 19. Funktsionaalsete osade katsetusseade Arduino Mega ADK

Joonistel 18 ja 19 kujutatud funktsionaalsete osade katsetuste ning analüüsi käigus selgus, milliseid komponente oleks mõistlik kasutada. Lisaks aitas funktsionaalsete osade testimine kaasa lõpliku seadme loomise protsessi kiirenemisele.

2.1.2. Prototüübi loomine

Diplomitöö raames loodi prototüüp pärast funktsionaalsete komponentide edukalt lõppenud testimist. Prototüüpide ehitamiseks on Arduino tootjad loonud prototüübi trükkplaadi nimega Arduino Mega Proto Shield (joonis 20) [26].



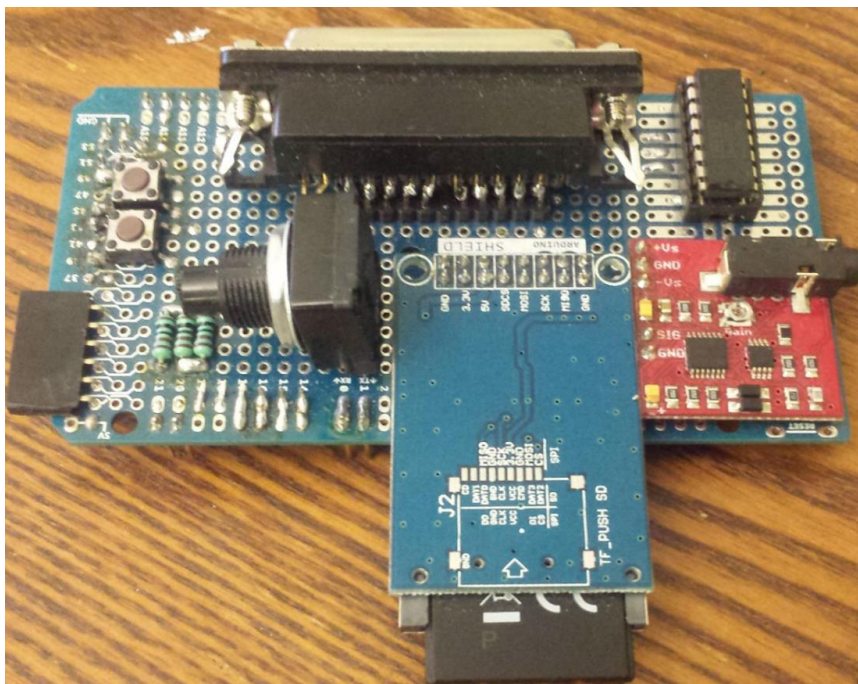
Joonis 20. Arduino Mega ADK Proto Shield [27]

Arduino Mega ADK Proto Shield (joonis 20) maksab 4.85 € ning seda on võimalik tellida Arduino kodulehelt [27].

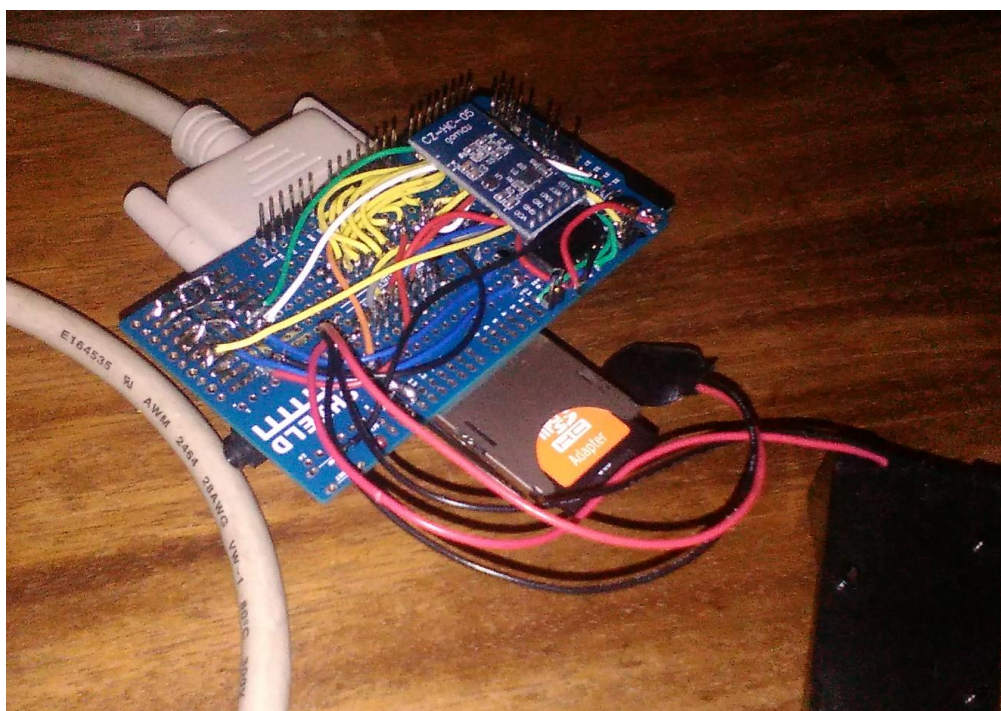
Tehnilised andmed:

- Pikkus 101,5 mm
- Laius 53,3 mm
- Mass 13 g [26].

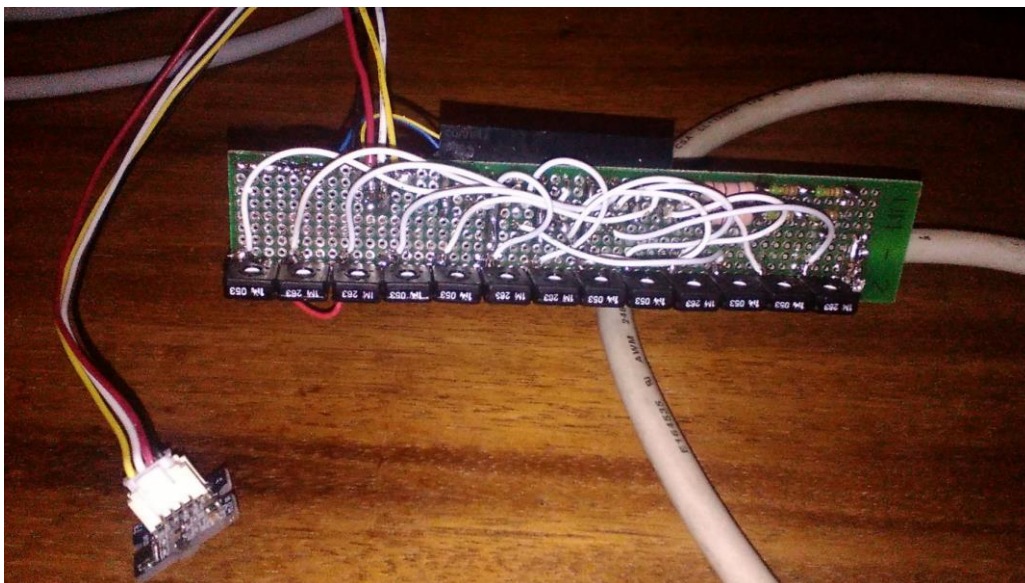
Diplomitöös raames loodud seadmele oli vaja valmistada prototüüp, et testida kõiki funktsionaalseid osasid reaalse mõõtmisprotsessi vältel. Selleks loodi prototüüp, mille pealmist osa on kujutatud joonisel 21 ning alumist osa joonisel 22. Lisaks on joonisel 23 kujutatud andurite moodul, mille külge ühenduvad kiirendusmõõtur ADXL345 (joonis 13) ning FSR andurid FlexiForce A201 (joonis 8).



Joonis 21. Prototüübi pealmine osa



Joonis 22. Prototüübi alumine osa



Joonis 23. Prototüübi andurite moodul

2.1.3. Katsetamise

Diplomitöös raames loodud prototüübi katsetamisel selgus, et kõik soovitud funktsionaalsed osad toimivad hästi. Seejärel tehti programmikood, kus kõik funktsionaalsed osad korraga kasutuses olid, et välja selgitada kas on vaja teha mingisuguseid muudatusi esmase seadme loomisel.

Põhilisteks probleemideks loodud prototüübi koostamisel olid:

- Signaali häirete silumine
- Programmikoodi ülesehitus kõigi funktsionaalosalade kasutamiseks
- Erinevate toitepingete loomine

Peale katsetuste edukat sooritamist hakati projekteerima esmast seadet.

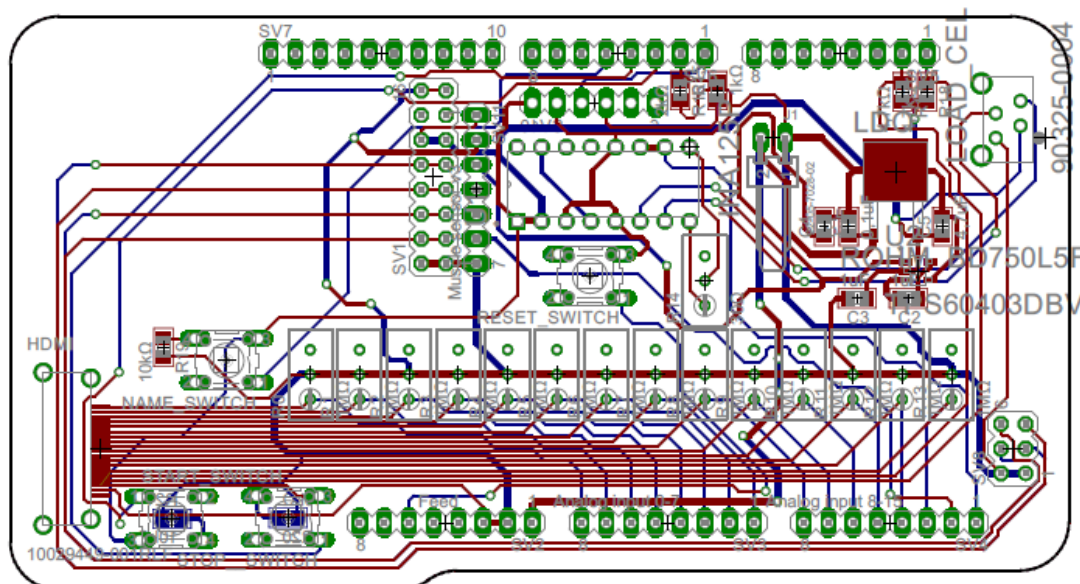
2.2. Esmane lahendus

2.2.1. Esmase lahenduse trükkplaadi loomine

Diplomitöös loodud seadme esmase lahenduse puhul kasutati tarkvara Eagle CAD software - *PCB Design & Schematic software* elektriskeemi sümbolkujul disainimiseks – edaspidi Eagle.

Peale esmase seadme loomist hakati disainima uut seadet, seega skeemi elementide kasutust kirjeldatakse lõpliku seadme puhul[28].

Pärast elektriskeemi sümbolkuju valmimist hakati disainima trükkplaati Eagle tarkvara abil (joonis 24).



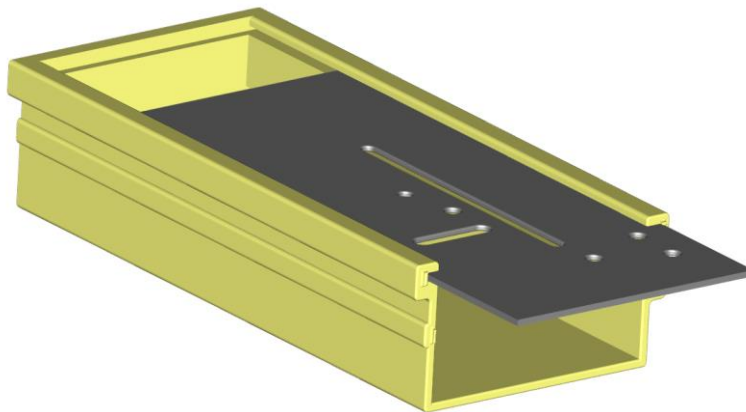
Joonis 24. Esmase seadme trükkplaadi disain

Loodud diplomitöö puhul oli olulisel kohal seadme suurus ning kvaliteet, seega telliti trükkplaadi freesimine teenusena Hiina ettevõtte ITEAD poolt, et saavutada seadme trükkplaadi minimaalsed mõõtmed [29].

2.2.2. Seadme korpuse disainimine

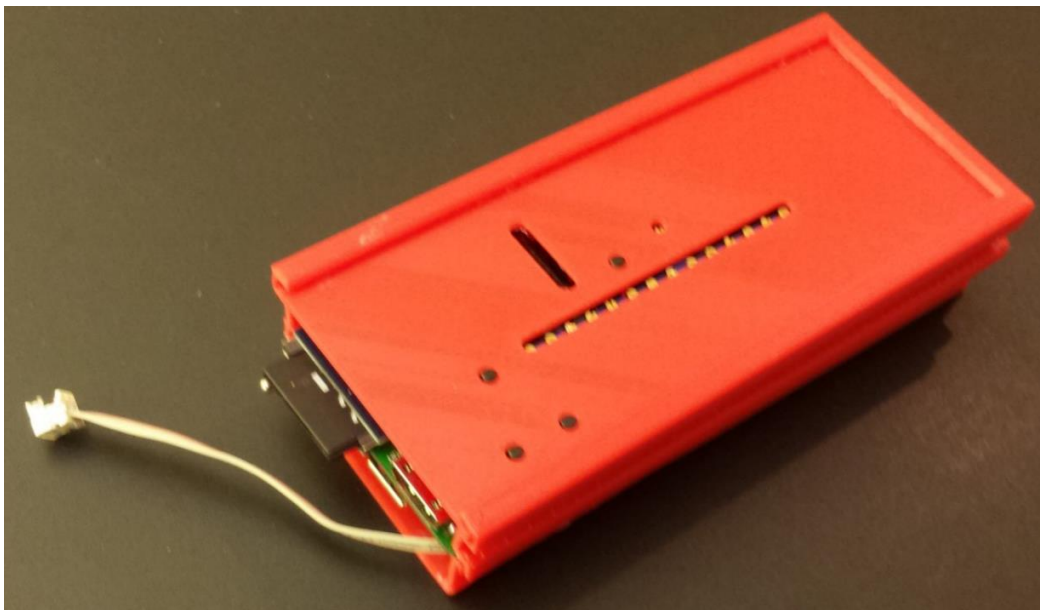
Diplomitöö raames loodud esmase seadme testimiseks oli vaja luua seadme korpus vältimaks kahjustusi ning kasutajasõbralikkuse suurendamiseks.

Seadme korpuse disainimiseks kasutati ettevõtte Siemens PLM Software poolt loodud tarkvara Solid Edge ST9 [30].



Joonis 25. seadme esmase lahenduse korpuse disain Solid Edge ST9 keskkonnas

Peale joonisel 25 kujutatud sobiliku disaini valmimist otsustati seadme korpuse valmistamiseks kasutada 3D printimise tehnoloogiat.

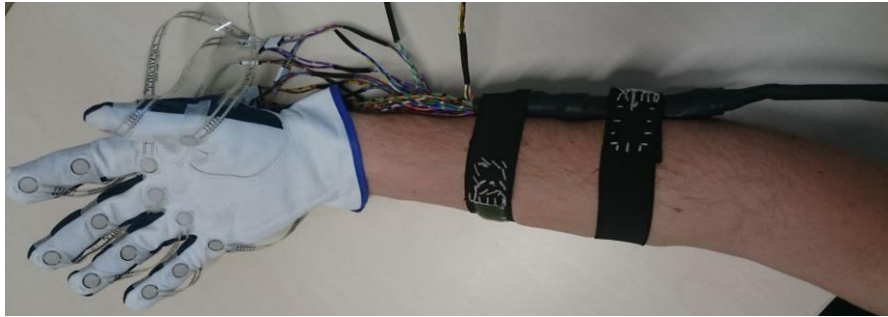


Joonis 26. Esmane seade korpusega

Esmase seadme korpuse disainimisel rõhuti seadme korpuse lihtsusele ning kasutajasõbralikkusele (joonis 26).

2.3.3. Katsetamine

Esmase seadme katsetamiseks kirjutati esialgne programmikood ning paigutati andurite mooduli andurid kinda külge (joonis 27).



Joonis 27. Andurite mooduli komponentide paigutus

Seadme katsetamise käigus selgus mitmed probleemid, millega oli vaja enne lõpliku lahenduse disaini väljamõtlemist tegeleda:

- Seadme FSR andurite kanalite signaali häired
- Kahe FSR anduri ühenduse puudumine
- tensoanduri halb ühendusviis seadmega
- Seadme korpuse 3D prinditud detailide halb kvaliteet
- Seadme korpuse jupid disainiti liiga suure täpsusega ning seadme komplekteerimine oli sellel põhjusel keeruline
- Seadme toiteallikaks kasutati patareid, mida ei ole võimalik laadida ning patarei vahetamiseks pidi korpuse lahti võtma
- Patarei halb paigutus seadmes.

2.3. Lõpplahendus

2.3.1. Lõpliku seadme skeemi loomine sümbolkujul

Diplomitöö lõpliku seadme skeemi loomiseks kasutati ettevõtte Autodesk poolt loodud tarkvara Eagle CAD software - *PCB Design & Schematic software*. Eagle CAD tarkvara on loodud elektroonikaskeemide sümbolkujul joonestamiseks ning trükkplaadi disainimiseks[28].

Eagle CAD tarkvara kasutati diplomitöös loodava seadme elektriskeemi sümbolkuju ning trükkplaadi disaini loomiseks kuna seadmes kasutatavate komponentide sümbolid ja joonised on võimalik Internetist alla laadida ja lisada skeemi- ning trükkplaadi disaini joonisele.

Seadme skeemi loomisel tuli juba enne elektriskeemi sümbolkujul loomist arvestada soovitud komponentide valikuga. Selleks analüüsiti milliseid komponente oleks sobilik kasutada elektiskeemi sümbolkuju loomise ajal. Tabelis 2 on välja toodud põhilised komponendid mida otsustati kasutada analüüsi tulemusena.

Tabel 2. Põhikomponendid

Tootja	Toote number	Kood	Kogus	Hind	Hind kokku
Omron Electronic	B3F-1000	176432	3	0,28	0,84
Amphenol Fci	10029449-001RLF	2112524	1	1,12	1,12
Rohm	BD750L5FP-CE2	2342928	1	2,73	2,73
Texas Instruments	TPS60403DBVT	8457786	1	1,37	1,37
Bourns	3296W-1-105LF	9353208	15	1,11	16,65
Bourns	3296W-1-101LF	9353160	1	1,14	1,14
Würth Elektronik	69222103010	1861259	1	3,78	3,78
Wago	2060-402/998-404	2102477	1	1,14	1,14
Texas Instruments	INA125p	1459461	1	6,16	6,16
C & K Components	T101MH9CBE	9575634	1	5,02	5,02
Amp - Te Connectivity	881545-1	4218164	2	0,17	0,34
Keystone	1290	2293259	1	3,25	3,25
AVX	0805ZD475KAT2A	1327701	5	0,31	1,55
				Kokku	45,09

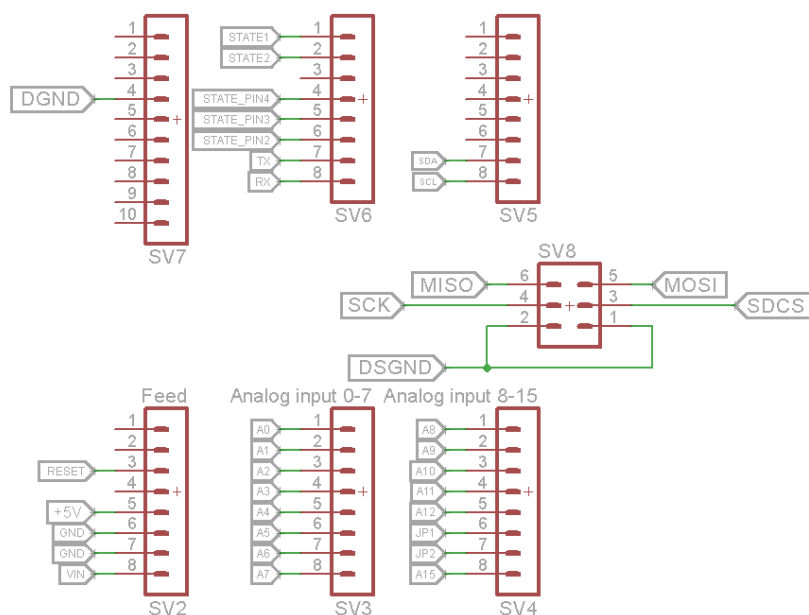
Tabelis 2 on kujutatud diplomitöös loodud lõpliku seadme trükkplaadi valmistamiseks vajalikke põhikomponentide infot ning nende hindasid. Seadme trükkplaadi komponentide peale kulus 45,09 €.

Tabel 3. Moodulid, moodulite komponendid ning teenused

Nimetus	Kogus	Hind	Hind kokku
Arduino Mega ADK	1	65,55	65,55
ADXL345	1	5,61	5,61
FlexiForce A201	15	13,5	202,5
USB 3.0	1	11,57	11,57
HBM C2	1	739,31	739,31
Muscle Sensor v3 Kit	2	47,55	95,1
IDC n1603 FSR pistikud	15	0,23	3,45
Bluetooth HC-05	1	12	12
SD module SDCM-ARD	1	5	5
Trükkplaadid	10	3,51	35,1
		Kokku	1175,19

Tabelis 3 on kujutatud diplomitöös loodud seadme ehitamiseks vajalike moodulite, moodulite komponentide ning vajalike teenuste hindasid. Seadme kõigi funktsioonide kasutamiseks vajalike komponentide hind on kokku 1175,19 €. Seadme kõige kallimat komponenti on võimalik asendada ka odavamate alternatiivsete anduritega.

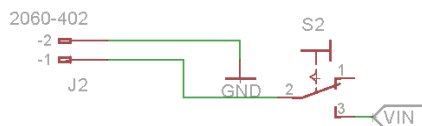
Diplomitöö raames loodud lõpliku seadme ühendamiseks Arduino Mega ADK platvormiga on seadmel 7 ühendusviikude kooslust (joonis 28). Viikude SV2 funktsiooniks on toiteahela ühendus seadmega ning välise taaskäivitamise ahela ühendamine. Viikude SV3 abil ühenduvad loodud seadme esimesed 8 FSR andurit Arduino Mega ADK platvormiga. Viikude SV4 abil ühenduvad loodud seadme 7 FSR andurit ning lineaarse tensoanduri operatsioonivõimendi signaali viik Arduino Mega ADK platvormiga. SV8 ühendusviikude funktsiooniks loodud seadme puhul on andmetalletuseks vajalike viikude vahel ühenduse loomine. SV5 ühendusviikude ülesandeks on kiirendusanduri ja Arduino Mega ADK platvormi vahel andmeside loomine. Loodud seadme puhul on SV6 ühendusviikude ülesandeks erinevate funktsionaallülitite, olekuindikaatorite ning andmeside viikude ja Arduino Mega ADK platvormi vahel ühenduse loomine.



Joonis 28. Loodud seadme funktsionaalplaadi ja Arduino vahelised ühendusviigud

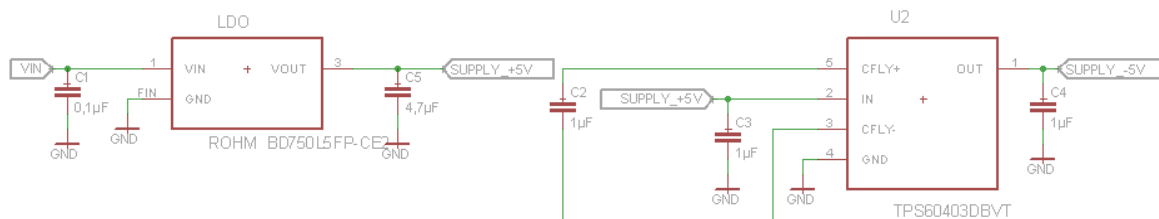
Joonisel 29 on kujutatud loodud seadme ning toiteallika vahel ühenduse loomiseks mõeldud ühendusviike koos peatoitelülitiga. Juhtmete ühendamiseks loodud seadmega kasutatakse

ettevõtte WAGO ühendusviike tootekoodiga 2102477 (tabel 2). Loodud seadme peatoitelülitina kasutatakse ettevõtte C & K Components poolt toodetavat lüliti tootekoodiga 9575634 (tabel 2).



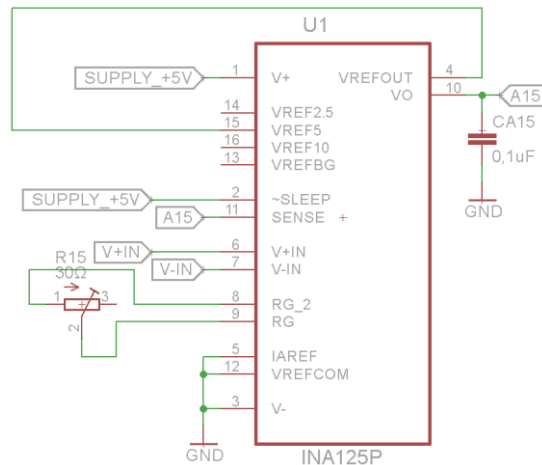
Joonis 29. Seadme toiteallika ühendus ning lülitus

Diplomitöös loodud lõpliku seadme toitmiseks kasutatakse (joonis 30) ettevõtte ROHM poolt toodetavat pingeregulaatorit BD750L5FP-CE2 tootekoodiga 2342928 alalisvoolu sisendpingega 5,6 - 45 V ning alalisvoolu väljundpingega 5 V (tabel 2). Loodud seadmega kasutatavate EMG moodulite jaoks sobiliku negatiivse toitepinge loomiseks kasutatakse ettevõtte Texas Instruments poolt toodetavat pinge konverteerijat tootekoodiga 8457786 (tabel 2).



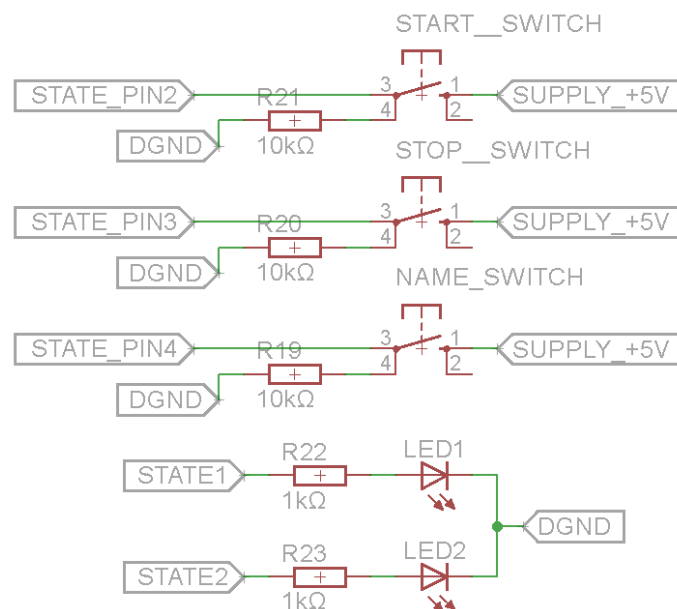
Joonis 30. Seadme toiteahel

Seadme lõpplahenduse puhul vajati tensoanduri kasutamiseks operatsioonivõimendit kuna anduri nominaalne tundlikkus oli 2 mV/V [14]. Operatsioonivõimendi puhul osutus valituks ettevõtte Texas Instruments poolt toodetud INA125p tootekoodiga 1459461 (tabel 2). Operatsioonivõimendi võimendusteguri muutmiseks kasutati ettevõtte Bourns poolt toodetavat potentsiomeetrit tootekoodiga 9353160 (tabel 2) (joonis 31).



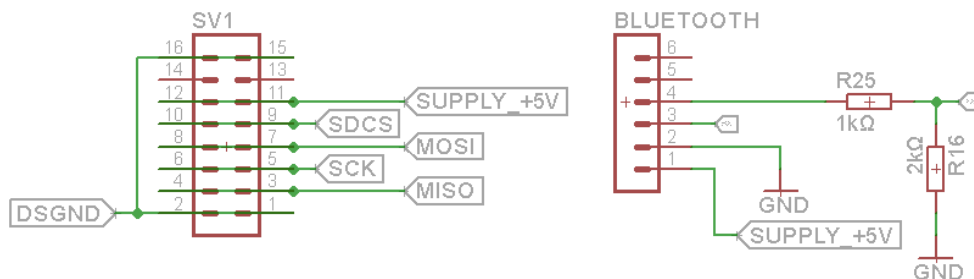
Joonis 31. Tensoanduri operatsioonivõimendi INA125p kasutamise skeem

Diplomitöös loodud seadme kasutajasõbralikumaks muutmiseks oli vaja lisada erinevaid funktsionaalseid lüliteid, mida saaks hiljem vastavalt programmikoodile soovitud viisil kasutada. Lüliteid taheti lõpliku seadme puhul kasutada, et käivitada mõõtmiste protsess, mõõtmiste protsessi peatamiseks ning andmete talletamise uue failinime valimiseks. Lisaks funktsionaalsetele lülititele lisati seadmele indikaatorid, millega oleks võimalik näidata seadme olekut (joonis 32).



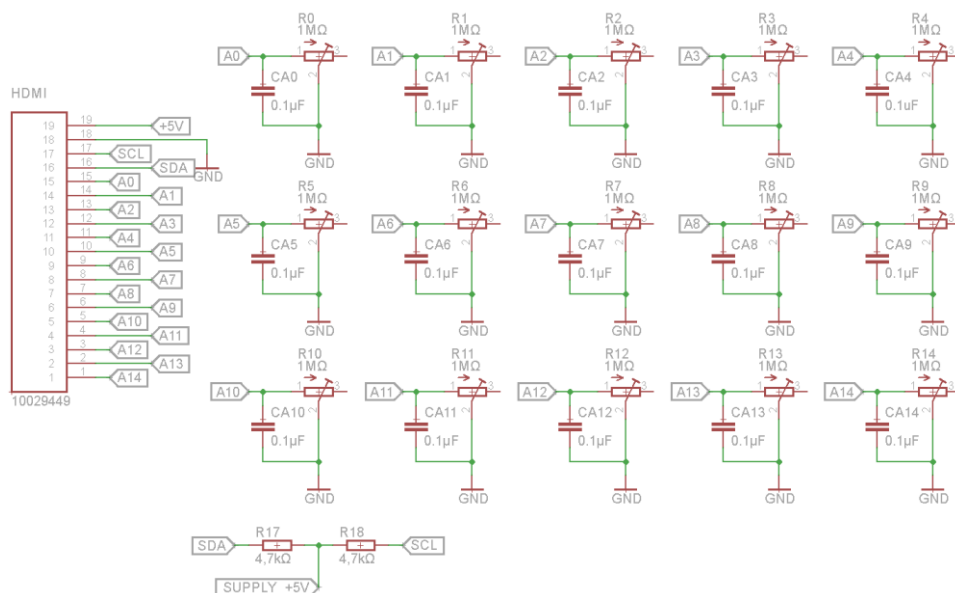
Joonis 32. Funktsionaallülitid ning olekuindikaatorid

Joonisel 33 on kujutatud juhtmevaba andmeside ühendusviike ning andmete talletamiseks vajalike ühendusviikude pistikut.



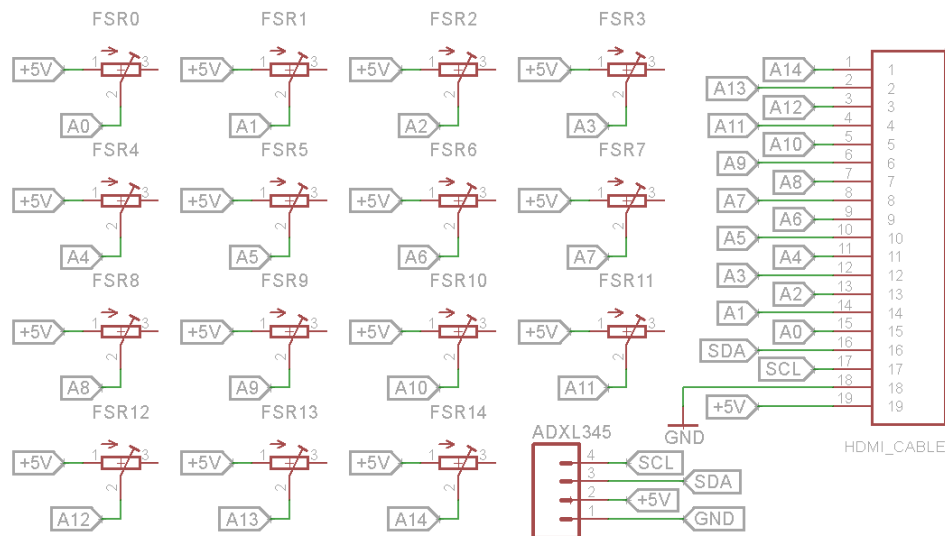
Joonis 33. Andmeside ning andmete talletamine

Diplomitöös otsustati kasutada piesotakisteid pingejaguri meetodil (joonis 9), kus pingejaguri üks takistuslikest elementidest asub loodud seadme trükkplaadil (joonis 34). Teine takistuslik element asub andurite mooduli küljes (joonis 35), mis on ühendatud seadmega läbi HDMI pistiku. Lisaks on kujutatud joonisel 34 kiirendusanduri ADXL345 andmeside viike.



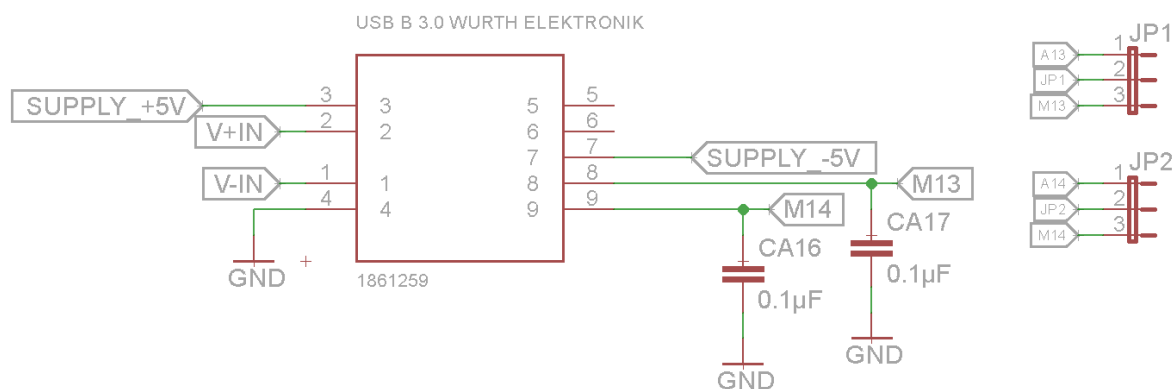
Joonis 34. FSR andurite pingejagurite esimene pool ning kiirendusmõõduri andmeside

Joonisel 35 on kujutatud kasutatavate FSR andurite pingejaguri teine pool, mis asub andurite mooduli küljes. Andurite moodul on seadmest eraldatud osa, mida ühendab seadmega HDMI kaabel. Lisaks FSR andurite pingejagurite teisele poolele asub andurite mooduli küljes ka kiirendusandur ning selle andmeside ühendusviigud (joonis 35).



Joonis 35. FSR andurite pingejagurite teine pool ning kiirendusmõõduri andmeside

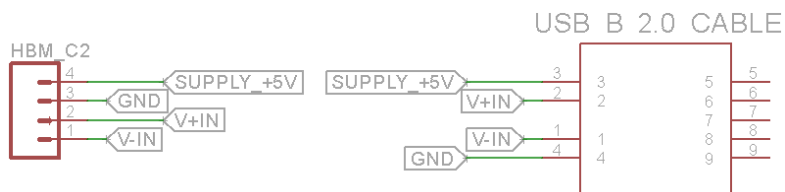
Diplomitöö raames loodud seadme lõpplahendusel on kaks andurite moodulit, mis on seadmega ühenduses kasutades kaablit. Teise andurite mooduli ühendamiseks kasutatakse USB B 3.0 pistikut, kuhu ühenduvad tensoandur ning kaks EMG moodulit. Lisaks on joonisel 36 kujutatud ümberlülitusviike JP1 ja JP2, mille abil saab valida kahe FSR anduri või kahe EMG mooduli kasutamise vahel (jooni 36).



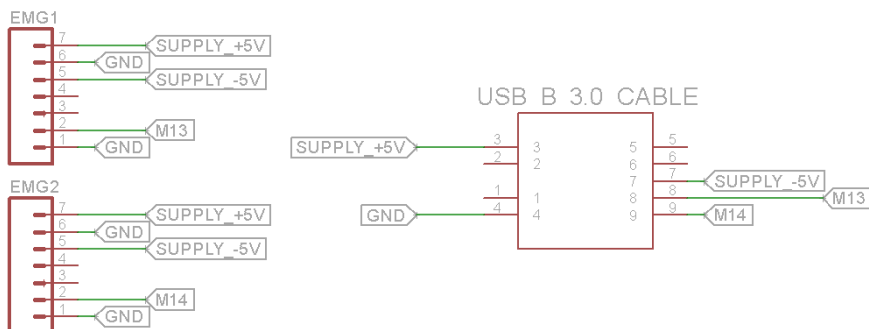
Joonis 36. Teise andurite mooduli ühenduspistik ning ümberlülitus viigud

Joonisel 34 on kujutatud teise andurite mooduli ühendusviikude sümbolskeemi. Teise andurite mooduli komponentideks on tensoandur HBM C2 (joonis 10) ning kaks EMG moodulit (joonis 14). Lisaks loodi diplomitöö raames lõplikule seadmele 2 erinevat teise andurite mooduli skeemi kuna HBM C2 andurit on võimalik kasutada ka USB B 2.0 kaablit kasutades (joonis 37) ning EMG mooduleid vaid USB B 3.0 kaablit kasutades (joonis 38).

Kaks erinevat teise andurite mooduli skeemi loodi kuna HBM C2 andurit ei ole vaja koguaeg kaasas kanda – seda vajatakse ainult kalibreerimise protsessi ajal.



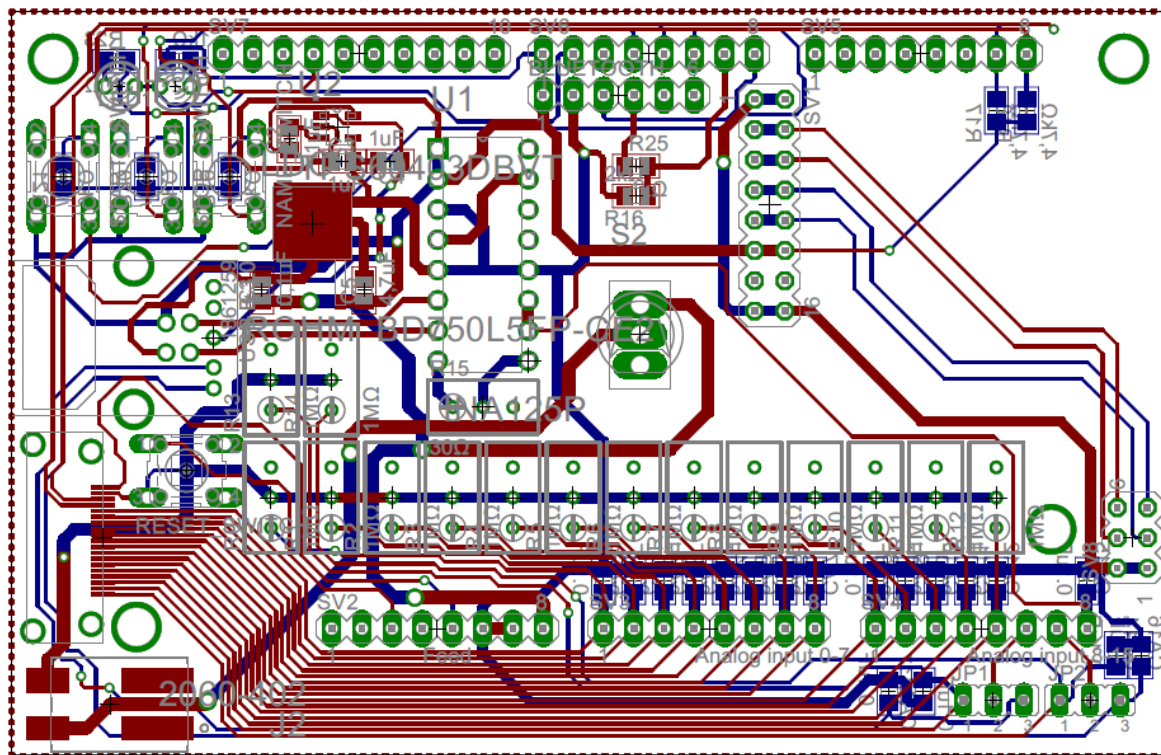
Joonis 37. USB B 2.0 andurite moodul tensoanduri HBM C2 ühendamiseks



Joonis 38. USB B 3.0 andurite moodul EMG moodulite ühendamiseks

2.3.2. Lõpliku seadme trükkplaadi skeemi disaini loomine

Lõpliku seadme trükkplaadi skeemi disain (joonis 39) otsustati luua kasutades Eagle tarkvara kuna ka esmase seadme puhul nägi disainimise protsessi samasugune välja.

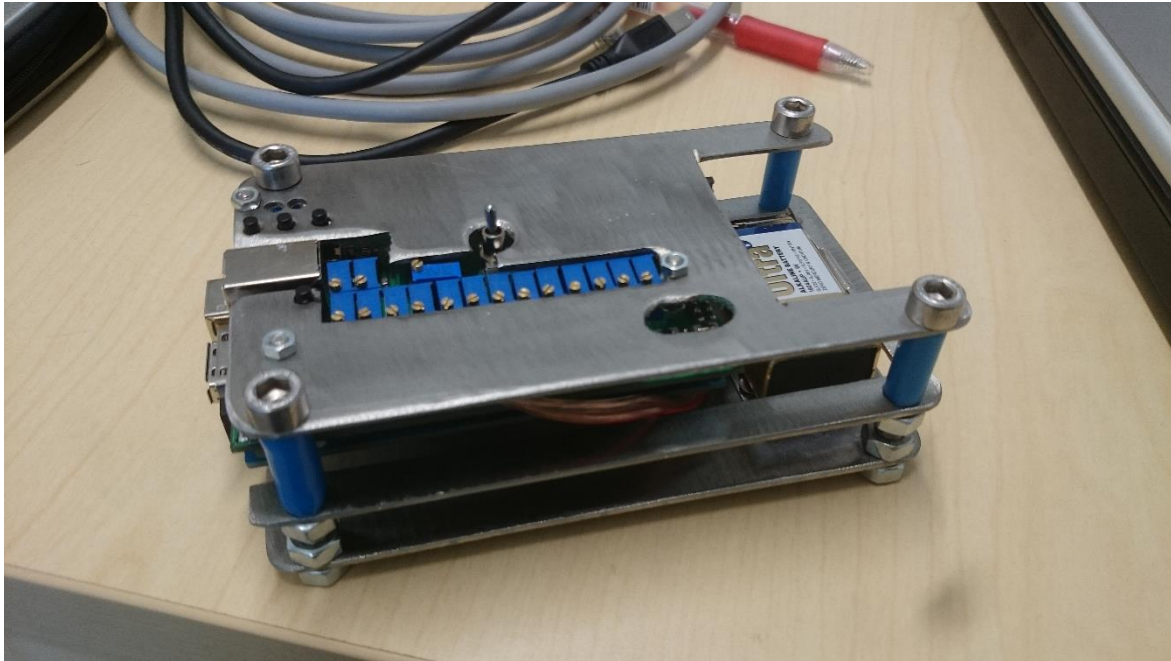


Joonis 39. Lõpliku seadme trükkplaadi skeemi disain

Diplomitöö raames loodud ning Hiinast tellitud esmase seadme trükkplaatide kvaliteet oli väga hea ning sellel põhjusel otsustati ka lõpliku seadme puhul disainitud trükkplaadid tellida sama ettevõtte, ITEAD, poolt[29].

2.3.3. Lõpliku seadme korpuse disainimine

Lõpliku seadme korpuse disainimisel (joonis 40) otsustati mitte kasutada 3D printimise tehnoloogiat kuna esmase seadme 3D prinditud korpuse kvaliteet oli halb.



Joonis 40. Seadme lõpplahenduse korpus

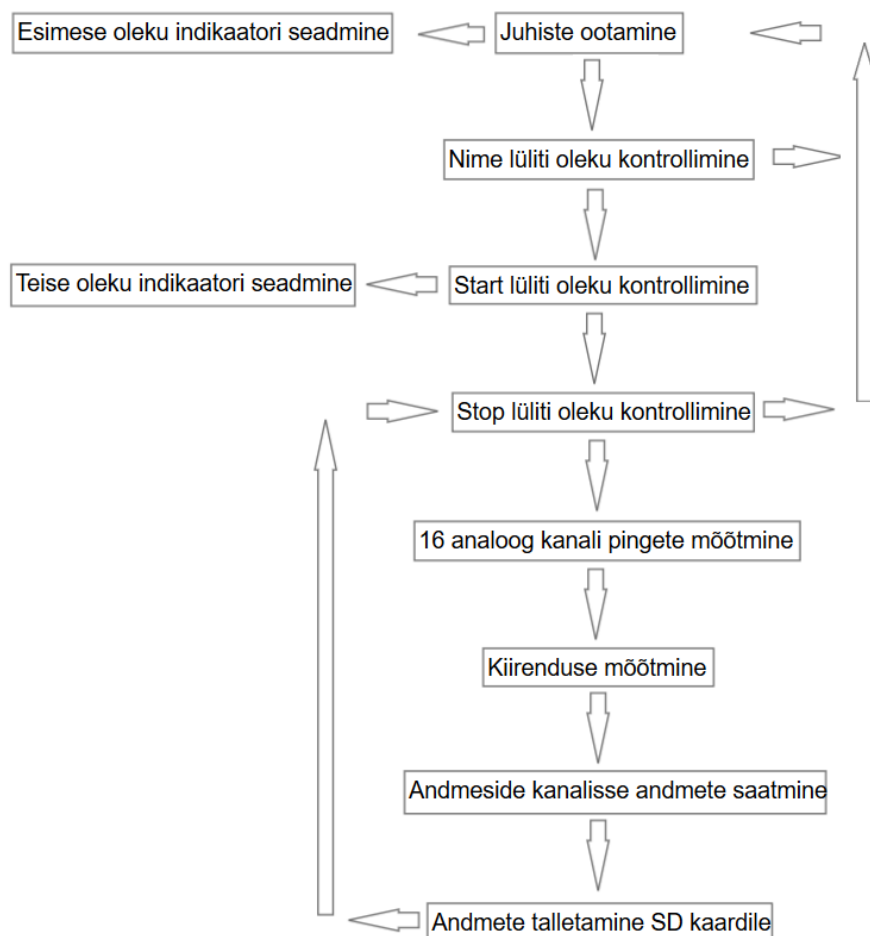
Seadme korpuse detailide disainimiseks tehti joonised (lisa B) ning töödeldi roostevabast metallist materjal vastava plaani järgi. Metallist korpuse kasuks otsustati seadme töökindluse suurendamiseks kuna mõõtmisprotsessi vältel võib seade saada lööke ning kukkuda.

3. SEADME KATSETAMINE

3.1. Tarkvara

Diplomitöö raames loodud lõpliku seadme katsetamiseks oli esmalt vaja kokku panna joonisel 41 kujutatud programm, kuidas kasutada seadmega ühendus olevaid komponente ning funktsioone soovitud viisil. Programmikoodi kirjutamisel kasutati tarkvara Arduino IDE [3]. Programmikoodi kirjutamisel juhinduti paljudest erinevatest infoallikatest:

- Arduino Mega ADK andmeleht
- Arduino IDE näidis programmikoodid
- Programmeerimiskeele struktuuriline info, muutujate ning funktsioonide kasutamine[31]



Joonis 41. Lõpliku programmikoodi kirjutamise eeskiri

3.2. Kalibreerimine

Diplomitöö raames loodud lõpliku seadme katsetamiseks ning kasutusele võtmiseks oli vaja seade esmalt kalibreerida. Kalibreerimise protsessi käigus kasutati arvutuste tegemiseks MS Excel tarkvara.

Kalibreerimise protsess koosneb mitmest sammust:

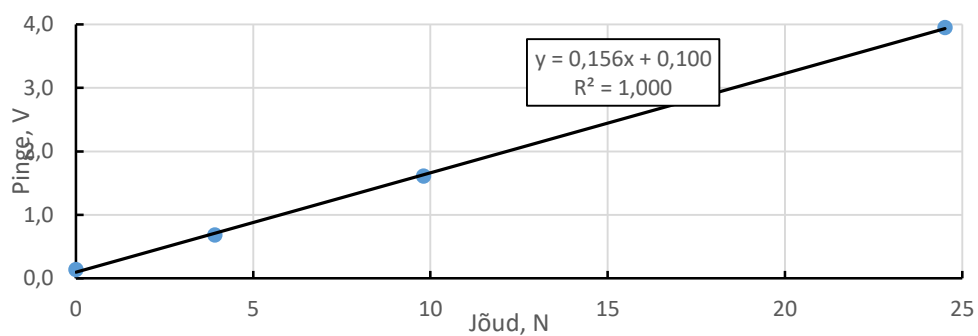
- Tensoanduri HBM C2 kalibreerimine kaaluvihtidega
- HBM C2 anduri regressioonivõrrandi leidmine
- FSR andurite kalibreerimine HBM C2 anduriga
- FSR anduritele regressioonivõrrandite leidmine.

Esimese kalibreerimise protsessi sammuna asuti lineaarset tensoandurit HBM C2 kalibreerima. Kalibreerimiseks kasutati kolme raskusega kaaluvihti – 0,5 kg, 1 kg ning 2,5 kg. Mõõteväärtuste kogumiseks käivitati seade ning asetati kaaluvihte korda mööda HBM C2 anduri peale joonisel 42 kujutatud viisil, et neid andmeid hiljem analüüsida.



Joonis 42. Lineaarse tensoanduri mõõteväärtuste kogumine kindlate kaaluvihtide abil

Lineaarse tensoanduri HBM C2 kalibreerimiseks kogutud andmete põhjal koostati joonisel 43 kujutatud graafik, mis kujutab kaaluvihtide poolt avaldatavat jõu (x-teljel) ning avaldatavale jõule vastava pinge (y-teljel) mõõteväärtuste suhet.



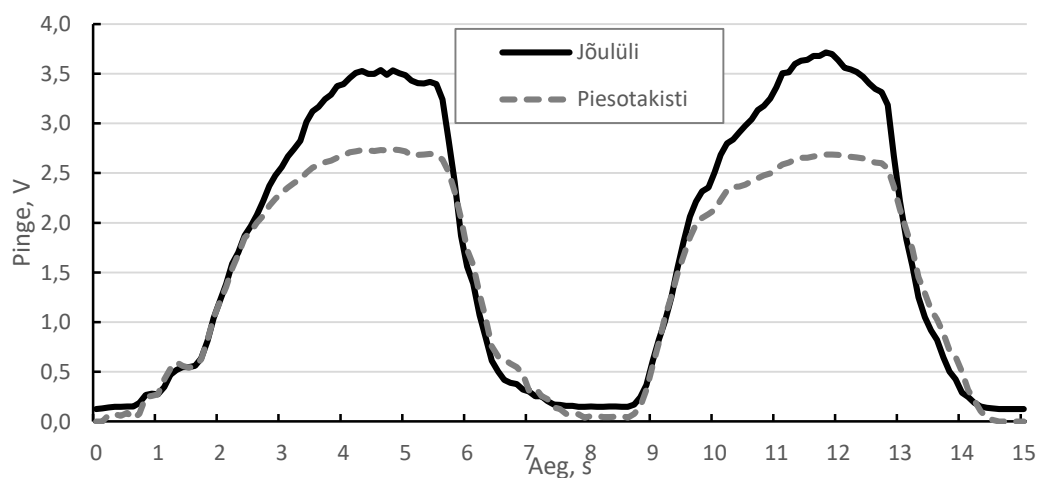
Joonis 43. Tensoandurikalibreerimisgraafik

FSR anduri kalibreerimiseks asetati andur tensoanduri HBM C2 survetundliku osa peale ning vajutati tugevalt sõrmega andurile – sellel viisil avaldati täpselt sama tugevusega jõudu nii FSR andurile kui ka tensoandurile (joonis 42).



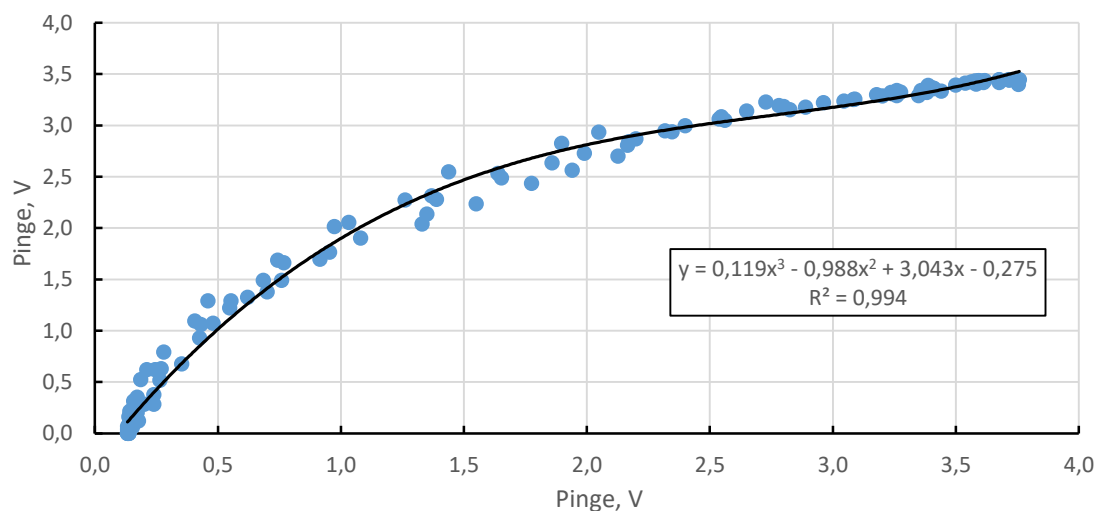
Joonis 44. FSR andurite andmete kogumine lineaarse tensoanduri abil

Kalibreerimise käigus avaldati anduritele jõudu kaks korda (joonis 45).



Joonis 45. FSR ning HBM C2 anduri väljundid jõu avaldamisel

FSR anduri kalibreerimisel võeti aluseks lineaarse tensoanduri HBM C2 kalibreerimisel leitud regressioonivõrrand. FSR anduri pinget ja jõu väärtused seoti joonisel 45 kogutud andmete põhjal anduri HBM C2 andmetega ning kasutades MS Exceli tarkvara leiti FSR anduri kalibreerimise regressioonivõrrand (joonis 46).



Joonis 46. FSR anduri ning HBM C2 väljundpingete hajuvusdiagramm

Kalibreerimise protseduur koos kestab ligikaudu 10 min, regressioonivõrrandite leidmine tunduvalt kauem ja seda on otstarbekas automatiseerida Matlabi tarkvara abil.

KOKKUVÕTTE

Diplomitöö raames tööriistade ergonoomilisuse hindamiseks loodud seadme projekteerimisprotsess ja loomine oli väga aeganõudev protsess. Loodud seadme lõpliku variandi valmimiseks oli vaja luua esmalt prototüüp ning seejärel esmane seade. Peale esmase seadme loomist projekteeriti lisaks teine seade, millel kõrvaldati esmase seadme vead ning lisati täiustusi. Seadmele esitatud nõuded said täidetud täies mahus ning seade on valmis kasutamiseks.

Tööriistade adekvaatseks hindamiseks on diplomitöös loodud lõplik seade võimeline talletama kahe tunni vältel mõõtmistulemusi 15 erineva punkti jõu kohta ning mõõtma kinda külge paigaldatud anduriga käe kiirendust. Lisaks on seade võimeline mõõtma ning salvestama kahe lihase elektromüograafilist aktiivsust.

Diplomitöö raames loodud seadme projekteerimise käigus valmis seade, mis on väärtust lisav ning aitab tööriistu edasi arendada parema ergonoomilisuse suunas.

SUMMARY

In case of thesis the created device to evaluate ergonomics of tools - projecting and creation of the final device was time-consuming process. To project the final variant of the device primarily was needed to create prototype and first device. After creation of the first device the thesis author projected second device which had first device's deficits eliminated and improvements added. In case of thesis projected and created device's all requirements were accomplished fully and device is ready for use.

To adequately evaluate ergonomics of tools the final device of thesis is able to collect data during two hours of 15 different point grip force and acceleration with sensors attached to glove. Besides the device is able to measure and save data of two separate muscles electromyographic activity.

In case of thesis the created final device is value enhancing and helps to develop tools to better ergonomic properties.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Dormikor OÜ, „Arduino Mega ADK,“
https://www.oomipood.ee/product/a000069_arduino_adk_rev3, 24.01.2017.
- [2] Arduino, „Arduino Board Mega ADK,“
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK>, 03.03.2017.
- [3] Arduino, „Software,“ <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, 03.04.2017.
- [4] H. Z. alinowska-Borowska, „The influence of wood hardness and logging operation on coupling forces exerted by lumb (2011),“ 13.08.2016.
- [5] A-levelphysicstutor, „Field capacitor,“ <http://www.a-levelphysicstutor.com/field-capacit-1.php>, 23.09.2016.
- [6] Electronicshub, „Capacitance and charge,“
<http://www.electronicshub.org/capacitance-and-charge/>, 10.11.2016.
- [7] Gerald L. Fellows, Andris Freivalds, „The use of force sensing resistors in ergonomic tool design,“ 11.09.2016.
- [8] Tekscan, „Force sensor construction,“
https://www.tekscan.com/sites/default/files/images/photo/Force-Sensor-Construction_0.jpg, 03.04.2017.
- [9] Mohsin I. Tiwana, Stephen J. Redmond, Nigel H. Lovell, „A review of tactile sensing technologies with applications in biomedical engineering.pdf,“ 19.04.2017.
- [10] Gudangjawaban wordpress, „Piezoelectric crystals,“
<https://gudangjawaban.wordpress.com/2010/09/06/perangkat-masa-depan-tak-perlu-baterai>, 23.02.2017.
- [11] Ueidaq wordpress, „Strain gauge,“ <https://ueidaq.wordpress.com/category/strain-gauge/>, 27.03.2017.
- [12] Tekscan, „FlexiForce a201,“ <https://www.tekscan.com/products-solutions/force-sensors/a201>, 12.02.2017.
- [13] Adafruit, „FSR sensor,“ https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/000/435/medium800/force___flex_fsrpulldownsch.gif?1447975571, 20.02.2017.
- [14] HBM, „C2,“
http://www.disensors.com/downloads/products/C2%20Compression%20Force%20Transducer_296.pdf, 26.03.2017.
- [15] National Instruments, „Accelerometers,“ <http://www.ni.com/white-paper/3807/en/>, 27.09.2016.
- [16] Nkcelectronics, „3 axis accelerometer,“
http://www.nkcelectronics.com/assets/images/3AxisAccelerometer16g_02.jpg, 05.04.2017.

- [17] Analog Devices, „ADXL345,“ <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>, 12.02.2017.
- [18] Advancertechnologies, „Muscle sensor v3,“ <http://www.advancertechnologies.com/p/muscle-sensor-v3.html>, 07.06.2016.
- [19] Advancer technologies, „Muscle sensor v3,“ <https://a.pololu-files.com/picture/0J5297.1200.jpg?e384c03c78ed05e9a5980bc794b8a18e>, 18.07.2016.
- [20] National instruments, „Data logger,“ https://www.ni.com/data_logger, 05.05.201.
- [21] Arduino, „SD module,“ http://i00.i.aliimg.com/wsphoto/v0/1645586096_3/Blue-Perfect-SD-Card-Module-Slot-Socket-Reader-For-Arduino-ARM-MCU-Read-Write.jpg, 04.09.2016.
- [22] SD Association, „SD card,“ <https://www.sdcard.org>, 22.02.2017.
- [23] Martyn Currey, „HC-05,“ <http://www.martyncurrey.com/wp-content/uploads/2014/10/HC-05-Basic-set-up-584x455.jpg> , 14.04.2017.
- [24] Arduino info Wikispace, „HC-05,“ <https://arduino-info.wikispaces.com/BlueTooth-HC05-HC06-Modules-How-To>, 16.07.2016.
- [25] Raspberry Community, „Breadboard,“ https://www.raspberrypi.org/magpi/wp-content/uploads/2017/01/Breadboard_Anno.jpeg, 02.12.2017.
- [26] Arduino, „Arduino Mega Proto Shield,“ <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoMegaProtoShield>, 07.02.2017.
- [27] Arduino, „Arduino Mega Proto Shield,“ <https://store.arduino.cc/arduino-mega-proto-shield-rev3-pcb>, 18.02.2017.
- [28] Autodesk, „Eagle,“ <http://eagle.autodesk.com/eagle/documentation>, 23.03.2017.
- [29] ITEAD, „Information,“ <https://www.itead.cc/about-itead>, 12.04.2017.
- [30] Siemens, „PLM Automation,“ <https://www.plm.automation.siemens.com/en/>, 26.04.2017.
- [31] Arduino, <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>, 18.09.2016.
- [32] Singletact, „Standard sensors,“ <https://www.singletact.com/micro-force-sensors/standard-sensors/>, 23.02.2017.
- [33] Oomipood, „HC-05,“ https://www.oomipood.ee/product/cz_hc_05_bluetooth_moodul_hc_05?q=Bluetooth%20HC-05, 15.03.2017.
- [34] TI, „INA125p,“ <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>, 22.11.2016.
- [35] HBM Corporation, <https://www.hbm.com/>, 14.02.2017.

LISAD

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Helari Kukk,
sünniaeg 06.03.1992,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Käe pigistusjõu mõõtmisüsteemi arendus Arduino mikrokontrolleri baasil“ mille juhendaja on Märt Reinvee

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)